



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“DETERMINACION DE PARÁMETROS ÓPTIMOS PARA LA REMOCIÓN DE IONES CALCIO MEDIANTE UN MODULO DE RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO EN UNA SOLUCIÓN MODELO”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autor:

Carlos Rodrigo Muñoz Angeles

Asesor:

Ing. Mg. Ricardo Rodríguez Vílchez.

Lima - Perú

2021

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS .....</b>	<b>i</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES.....</b>	<b>viii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>x</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>11</b>
1.1 Realidad Problemática .....	11
1.2 Bases Teóricas .....	19
1.3 Formulación del problema .....	24
1.4 Justificación .....	25
1.5 Objetivos .....	25
1.6 Hipótesis .....	26
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>27</b>
2.1 Tipo de investigación .....	27
2.2 Población y muestra .....	28
2.3 Técnicas, instrumentos de recolección y análisis de datos .....	29
2.4 Procedimiento de montaje y fase experimental .....	30
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS.....</b>	<b>35</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>76</b>
4.1 Discusión .....	76
4.2 Conclusiones.....	78
<b>Referencias.....</b>	<b>79</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>82</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Diseño Factorial 2 <sup>3</sup> .....	28
<b>Tabla 2</b> Determinación Dureza Cálctica .....	42
<b>Tabla 3</b> Resultado Corrida Experimental N°1 .....	44
<b>Tabla 4</b> Resultado Corrida Experimental N°2.....	48
<b>Tabla 5</b> Resultado Corrida Experimental N°3.....	52
<b>Tabla 6</b> Resultado Corrida Experimental N°4.....	56
<b>Tabla 7</b> Resultado Corrida Experimental N°5.....	60
<b>Tabla 8</b> Resultado Corrida Experimental N°6.....	64
<b>Tabla 9</b> Resultado Corrida Experimental N°7.....	68
<b>Tabla 10</b> Resultado Corrida Experimental N°8.....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Esquema del Módulo de Intercambio Iónico .....	34
<b>Figura 2</b> Residuos vs Ajustes.....	35
<b>Figura 3</b> Histograma .....	36
<b>Figura 4</b> Grafica de Probabilidad Normal.....	37

<b>Figura 5</b> Residuo vs Orden .....	38
<b>Figura 6</b> Diagrama de Pareto de Efectos Estandarizados .....	39
<b>Figura 7</b> Grafica de Efectos Principales Para Remoción Calcio .....	40
<b>Figura 8</b> Gráfica de Interacción Para Remoción Calcio .....	41
<b>Figura 9</b> Experiencia 1 - Dureza vs Tiempo .....	45
<b>Figura 10</b> Experiencia 1 - Conductividad vs Tiempo .....	46
<b>Figura 11</b> Experiencia 1 - pH vs Tiempo.....	47
<b>Figura 12</b> Experiencia 2 - Dureza vs Tiempo .....	49
<b>Figura 13</b> Experiencia 2 - Conductividad vs Tiempo .....	50
<b>Figura 14</b> Experiencia 2 - pH vs Tiempo.....	51
<b>Figura 15</b> Experiencia 3 - Dureza vs Tiempo .....	53
<b>Figura 16</b> Experiencia 3 - Conductividad vs Tiempo .....	54
<b>Figura 17</b> Experiencia 3 - pH vs Tiempo.....	55
<b>Figura 18</b> Experiencia 4 - Dureza vs Tiempo .....	57
<b>Figura 19</b> Experiencia 4 - Conductividad vs Tiempo .....	58
<b>Figura 20</b> Experiencia 4 - pH vs Tiempo.....	59
<b>Figura 21</b> Experiencia 5 - Dureza vs Tiempo .....	61
<b>Figura 22</b> Experiencia 5 - Conductividad vs Tiempo .....	62
<b>Figura 23</b> Experiencia 5 - pH vs Tiempo.....	63

<b>Figura 24</b> Experiencia 6 - Dureza vs Tiempo .....	65
<b>Figura 25</b> Experiencia 6 - Conductividad vs Tiempo .....	66
<b>Figura 26</b> Experiencia 6 - pH vs Tiempo.....	67
<b>Figura 27</b> Experiencia 7 - Dureza vs Tiempo .....	69
<b>Figura 28</b> Experiencia 7 - Conductividad vs Tiempo .....	70
<b>Figura 29</b> Experiencia 7- pH vs Tiempo.....	71
<b>Figura 30</b> Experiencia 8 - Dureza vs Tiempo .....	73
<b>Figura 31</b> Experiencia 8 - Conductividad vs Tiempo .....	74
<b>Figura 32</b> Experiencia 8 - pH vs Conductividad.....	75
<b>Figura 33</b> Módulo de Intercambio Iónico .....	88
<b>Figura 34</b> Tanques de Resinas de Intercambio Iónico .....	89
<b>Figura 35</b> Equipos y materiales .....	90
<b>Figura 36</b> Instrumentos Para Titulación EDTA.....	91
<b>Figura 37</b> Materiales e Instrumentos Titulación EDTA .....	92

## ÍNDICE DE ECUACIONES

•	Porcentaje de remoción.....	23
•	Ecuación ppm $CaCO_3$ .....	23
•	Reacción en resina .....	24

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar los parámetros de operación óptimos de un módulo de resinas de intercambio iónico para la remoción de iones calcio de una solución modelo para así mejorar las condiciones de operación de equipos convencionales a escala industrial.

Se construyó un módulo de resinas de intercambio iónico a escala piloto, el cual cuenta con una estructura metálica donde se montó los equipos y materiales, se utilizó un tanque de almacenamiento principal con capacidad de 10 L y dos tubos de almacenamiento de resinas de 6 L, bomba de agua, resina de intercambio iónico Lewatit S1567 y accesorios. Se cuantifico los sólidos totales disueltos, pH, conductividad y la concentración de iones calcio del agua tratada.

Los parámetros de operación evaluados fueron: peso de resina, flujo volumétrico y concentración de la solución modelo. Mediante el uso del software Minitab se determinaron los valores óptimos de cada parámetro, los cuales se establecieron en las siguientes medidas: Peso de resina (1770 gr), Flujo volumétrico (1.3 ml/s) y concentración (0.5 g/L), bajo estas características de los parámetros del equipo de intercambio iónico brindo mejores resultados en el proceso de obtención de agua libre de dureza cálcica.

**Palabras clave:** Resinas, intercambio iónico, agua blanda.

## SUMMARY

This research aimed to determine the optimal operating parameters of an ion exchange resin module for the removal of calcium ions from a model solution in order to improve the operating conditions of conventional equipment on an industrial scale.

A pilot scale ion exchange resin module was built, which has a metallic structure where the equipment and materials were assembled, a main storage tank with a 10 L capacity and two 6L resin storage tubes, pump of water, Leawtit S1567 ion exchange resin and accessories. The total dissolved solids, pH, conductivity and the concentration of calcium ions of the treated water were quantified.

The operating parameters evaluated were: resin weight, volumetric flow and concentration of the model solution. Using Minitab software, the optimal values of each parameter were determined, which were set in the following measures: Resin Weight (1770 gr), Volumetric Flow (1.3 ml/s) and Concentration (0.5 g/L), under these characteristics of the parameters of the ion exchange equipment provide better results in the process of obtaining water free of calcium hardness.

**Keywords:** Resins, ion exchange, soft water.



### Referencias

- Alvarez Valdez, F. R., & Rado Parada, A. J. (2013). *Sistemas de tratamiento de agua por intercambio iónico y osmosis inversa*. Arequipa: Universidad Católica de Santa María.
- Araujo Ulloa, K. D. (2015). *Diseño de unidades de desmineralización del agua como medio de enfriamiento*. Quito.
- Bandrabur, B., y, Tataru-Farmus, R. E., Lazar, L., Bulgariu, L., & Gutt, G. (2012). Use of strong acid resin Purolite C100E for removing permanent hardness of water factors affecting cation exchange capacity. *Estudios Científicos e investigación Química e Ingeniería Química, Biotecnología, Industria alimentaria.*, 295-304.
- Coca, M., Mato, S., Gonzalez Benito, G., Ureña, M., & García Cubero, M. (2009). Use of weak cation exchange resin Lewatit S 8528 as alternative to strong ion exchange resins for calcium salt removal. *Journal of Food Engineering*, 569-573.
- Cortijo Herrera, D. (2013). Desalcalinización del agua mediante intercambio iónico. *Ingeniería Industrial*, 221-238.
- Coruña, U. d. (2015). *Intercambio Iónico (FT-TER-006)*. La Coruña.
- Fathy, M., Moghny, A., Ahmed Mousa, M., Hameed A-A, A., El-Bellihi, & Awadallah, A. E. (2015). Sulfonated Ion Exchange Polystyrene Composite Resin for Calcium Hardness Removal. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 20-29.

Guerrero Vejarano , T. E., & Anaya Fernández, Ó. G. (2019). Eficiencia de la Resina Lewatit Monoplus M600 en la Remoción de Nitratos en Aguas para Consumo Humano. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 153-162.

Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar , R. (2008). *Análisis y Diseño de Experimentos*. Mexico: McGraw - Hill Interamericana.

Instituto de Hidrología, Metereología y Estudios Ambientales. (04 de Octubre de 2007). *Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - Republica de Colombia*. Obtenido de Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - Republica de Colombia: <http://www.ideam.gov.co>

Millar, G., Miller, G., Couperthwaite, S., & Papworth, S. (2016). Factors influencing kinetic and equilibrium behaviour of sodium ion exchange with strong acid cation resin. *ELSEVIER*, 79-91.

Nevárez Rivadeneira, M. E. (2009). *Optimización del Proceso de Regeneración de Resinas de Intercambio Iónico para ser Utilizadas en el Desmineralización de Agua de Reninería Estatal Esmeraldas*. Riobamba - Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

OMS. (14 de Junio de 2019). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

Quispe Puma, R. (2016). *Variación de Concentración de Cationes del Agua Dura al Paso por la Resina Catiónica*. Puno.

Ramos Olmos, R., Sepúlveda Marqués, R., & Villalobos Moreto, F. (2003). *El agua en el medio ambiente Muestreo y Analisis*. México: Plaza y Valdés.

Ramos Salcedo, F. R. (2017). *Capacidad de la resina Amberlite IR-120 para mejorar la calidad de agua subterránea en la urbanización San Sebastián - Comas, 2017* . Lima.

Vargas Cordero, Z. (2009). La investigación aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista Educación*.

Yu, Z., Qi, T., Qu, J., & Gou, Y. (2015). Application of mathematical models for ion-exchange removal of calcium ions from potassium chromate solutions by Amberlite IRC 748 resin in a continuous fixed bed colum. *ELSEIVER*, 165-171.

Yu, Z., Qi, T., Qu, J., Wang, L., & Chu, J. (2008). Removal of Ca(II) and Mg(II) from potassium chromate solution on Amberlite IRC. *ELSEIVER*, 1-7.

## **NOTA DE ACCESO**

**No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales.**